

# PENGARUH SIFAT FISIK AGREGAT KASAR DAN JENIS ASPAL KERAS TERHADAP NILAI KOEFISIEN KEKUATAN RELATIF LAPISAN PERMUKAAN DAN MODULUS KEKAKUAN HOT ROLLED ASPHALT (HRA)

Agus Taufik Mulyono \*)

## ABSTRACT(PRIVATE)

This research aims to find out some phenomena concerning with the content, shape, and nominal size of coarse aggregate grains and type of hard asphalt toward the coefficient value of relative strength ( $a_1$ ) of surface layer, and the elastic mix stiffness value ( $Sme$ ) of hot rolled asphalt (HRA) mixture applied as flexible surface layer, which has structural value.

This research applies Marshall test for each model of HRA mixture composed from the variety of content (56%, 63%, 70%), shape (rounded, crushed) and nominal size of grain (20mm, 28mm, 35mm) of coarse aggregate, and type of hard asphalt (AC 60-70, AC80-100) as the binding material.

The model of HRA crushed mixture with AC 60-70 asphalt will have higher value of  $a_1$  and  $Sme$  if, within the range of nominal size of 23mm-30mm, it has bigger content. Similarly, this also applies to the model of HRA rounded mixture using AC 80-100 asphalt within the range of nominal size of 34mm-35mm. In addition, the findings also indicate that in the model of HRA crushed mixture and HRA rounded mixture using AC 80-100 asphalt has lower value of  $a_1$  and  $Sme$  if, within the range of nominal size of 20mm-29mm, they have bigger content. This is similar to the model of HRA crushed mixture and HRA rounded mixture using AC 60-70 asphalt within the range of nominal size of 20mm-22mm, and 32mm-35mm. From these findings the best model of HRA crushed mixture derives, i.e. with 70% coarse aggregate content, optimum 5.36% AC 60-70 asphalt content, and nominal size of 28mm having  $a_1$  value=0.3928 and  $Sme$  value=2473.92 MPa. Another best model is 56% coarse aggregate content, optimum 5.66% AC 60-70 asphalt content, nominal size of 35mm having  $a_1$  value=0.3801 and  $Sme$  value=2426.22 MPa. Meanwhile the best model of HRA rounded mixture is 56% coarse aggregate content, optimum 5.36% AC 60-70 asphalt content, nominal size of 20mm having  $a_1$  value of 0.3409 and  $Sme$  value=2017.60 Mpa.

## PENGANTAR

### Perumusan Masalah

Sebenarnya HRA itu sendiri dapat digunakan selain sebagai lapis aus (*wearing course*), dapat pula digunakan sebagai lapis permukaan bernilai struktural (*base course*), dan lapis pondasi atas (*road base*), sebagaimana yang sudah dikembangkan di Inggris (BS 594, 1985). HRA yang bernilai struktural mempunyai kadar agregat kasar antara 50% sampai 70%, dapat berupa agregat kasar pecah (*crushed*) dan agregat kasar alam (*rounded*) dengan ukuran maksimal nominal 20 mm, 28 mm dan 35 mm serta memakai bahan ikat aspal keras dengan nilai penetrasi 40 sampai 100. Mengingat kondisi lingkungan alam yang amat berbeda antara Inggris dengan Indonesia maka diperlukan pemahaman sifat fisik agregat dan sifat fisik aspal yang lebih cermat sehingga dimungkinkan penggunaan HRA bernilai struktural untuk peningkatan jalan di Indonesia, dengan demikian akan diperoleh efisiensi dalam bentuk pemakaian agregat kasar alam (*rounded*) dengan kadar aspal yang efektif tanpa mengurangi nilai struktural HRA sebagai lapis

permukaan lentur. Sifat fisik agregat kasar tersebut (kadar, ukuran dan bentuk) dan jenis aspal keras (nilai penetrasi dan titik lembek) sangat besar pengaruhnya terhadap kualitas HRA terutama kaitannya dengan nilai modulus elastik campuran agregat aspal dan nilai koefisien kekuatan relatif bahan. Semakin besar nilai modulus elastik tersebut dan semakin besar nilai koefisien kekuatan relatif bahan maka lapis keras HRA makin tipis namun mampu menyebarkan tekanan beban lalu lintas kendaraan ke lapisan di bawahnya dalam bentuk bidang divergensi yang lebih luas. Perilaku seperti ini akan mencegah terjadinya retak karena lelah (*fatigue cracking*) dan dapat memperpanjang kinerja lapis keras.

### Keaslian Penelitian

Kajian sebelumnya pernah dilakukan oleh Sidarhardja (1985) dengan meneliti pengaruh beberapa sifat fisik agregat kasar dan agregat halus terhadap stabilitas, fleksibilitas dan *skid resistance* HRA sebagai lapis aus permukaan jalan (*wearing course*). Dalam penelitian Sidarhardja (1985)

\*) Ir. Agus Taufik Mulyono, MT., Dosen Jurusan Teknik Sipil, FT UGM dan Peneliti pada Pusat Antar Universitas (PAU) Ilmu Teknik, Universitas Gadjah Mada

tersebut dinyatakan bahwa sifat fisik agregat kasar yang ditinjau adalah ukuran, bentuk dan kadar, serta sifat fisik agregat halus yang ditinjau adalah bentuk butiran. Penelitian tersebut tidak meninjau pengaruh jenis aspal. Hasil penelitian tersebut menyebutkan bahwa kadar agregat kasar (baik alam maupun buatan) yang memenuhi syarat stabilitas, fleksibilitas dan *skid resistance* HRA (lapis aus) adalah 30% terhadap total campuran, tanpa meninjau jenis agregat halus. Penelitian ini diharapkan dapat menindaklanjuti penelitian sebelumnya tersebut dengan pengujian di laboratorium untuk mendapatkan pengaruh sifat fisik agregat kasar dan jenis aspal keras terhadap nilai struktural HRA sebagai lapis permukaan struktural jalan.

### Tujuan Penelitian

Penelitian bertujuan untuk menganalisis pengaruh beberapa sifat fisik agregat kasar dan jenis aspal keras terhadap nilai struktural HRA sebagai lapis permukaan lentur secara laboratorium. Sifat fisik agregat kasar yang ditinjau adalah kadar, bentuk dan ukuran maksimal nominal butiran agregat. Jenis aspal keras yang ditinjau adalah *asphalt cement* (AC) produksi PT. Pertamina Indonesia yang banyak digunakan sebagai bahan ikat dalam perkerasan lentur yaitu AC 60-70 dan AC 80-100. Nilai struktural yang ditinjau adalah nilai modulus elastik campuran HRA, yang merupakan fungsi dari nilai VMA (*voids in mixed aggregate*) dan nilai modulus elastik aspal (Sb). Nilai VMA merupakan fungsi dari volume aspal dalam campuran agregat aspal ( $V_B$ ) dan jumlah pori udara dalam campuran agregat aspal yang padat (VITM), nilai modulus elastik aspal merupakan fungsi dari tingkat konsistensi aspal (ditunjukkan dengan angka penetrasi), titik lembek aspal dan kecepatan pembebanan. Selain itu, nilai struktural yang ditinjau adalah koefisien kekakuan relatif lapis permukaan yang merupakan fungsi dari nilai stabilitas *Marshall*. Lapis permukaan lentur yang ditinjau adalah lapis permukaan yang bernilai struktural dengan bahan konstruksi HRA yang mengacu pada spesifikasi teknis BS (*British Standard Institution*) 594 (1985).

### TINJAUAN PUSTAKA

Siswosoebrotho (1994) menyatakan bahwa pada HRA sebagai lapis permukaan tidak struktural (*wearing course*) nilai stabilitas campurannya tidak bergantung pada kondisi saling mengunci diantara susunan agregat (*interlocking*) tetapi sangat bergantung pada kekuatan campuran mortar yang ada dan keberadaan agregat kasar hanya sebagai material pengisi saja. Sementara itu standar HRA dalam BS

594 (1985) menyatakan bahwa HRA sebagai lapis permukaan struktural (*base course*) maupun lapis pondasi (*road base*), konstruksi campurannya sangat ditentukan oleh bentuk agregat kasar (bentuk pecah dan bentuk *gravel*) dengan kadar agregat kasar antara 50%-70% terhadap total berat campuran dan bentuk gradasi agregat ditandai dengan ukuran nominal maksimum butiran agregat kasar yaitu 20 mm, 28 mm dan 35 mm dengan mempertimbangkan tebal lapis keras yang ditetapkan di lapangan.

Teori kekakuan atau *stiffness* (Brown dan Brunton, 1984) menyebutkan bahwa nilai struktural lapis keras lentur dapat dinyatakan sebagai *stiffness* atau modulus elastik campuran agregat aspal. Juga dinyatakan bahwa nilai modulus elastik campuran agregat aspal ditentukan oleh *stiffness* bahan pengikat (aspal) dan karakteristik perbandingan agregat (gradasi agregat). *Stiffness* bahan pengikat (aspal) sangat ditentukan oleh *loading time*, *recovered softening point of bitumen* dan *recovered penetration index of bitumen*. Sedangkan variasi bentuk gradasi agregat akan memberikan variasi nilai VMA, hal ini akan berdampak terhadap nilai modulus elastik campuran agregat aspal.

Mulyono (1997) menyatakan dalam hasil penelitiannya bahwa makin kecil nilai *voids in the mix* (VITM) dan makin kecil volume aspal dalam campuran HRA maka nilai VMA makin kecil, akibatnya nilai modulus elastik campuran HRA makin besar. Makin besar volume aspal dalam campuran HRA maka nilai VMA makin besar, sehingga nilai modulus elastik campuran HRA makin kecil.

### LANDASAN TEORI

Susunan konstruksi HRA sebagai *wearing course* (tidak struktural) jauh berbeda dengan sebagai *base course* (lapis permukaan struktural). Di Indonesia, pengertian *base course* tersebut adalah lapis permukaan (*surface course*) yang bernilai struktural, artinya lapis permukaan yang mampu meneruskan beban lalu lintas ke lapis di bawahnya.

Nama Lapis Keras :	Nama Konstruksi :
<i>Wearing course</i>	HRA
<i>Base course</i>	HRA
<i>Road base</i>	HRA
<i>Subbase</i>	<i>Wet Bound Macadam</i>
<i>Subgrade</i>	<i>Subgrade</i>

Sumber : BS 594 (1985) dan Sastroadinoto (1997)

Gambar 1. Konstruksi HRA pada Berbagai Lapis Keras Lentur

Menurut AASHTO (1982) maupun Bina Marga (1987) disebutkan bahwa koefisiensi kekuatan relatif lapisan (*structural layer coefficients*) merupakan indikasi nilai struktural lapis keras yang ditunjukkan dalam formula berikut :

$$ITP = a_1 D_1 + a_2 D_2 + a_3 D_3 \text{ (Bina Marga 1987)} \quad (1)$$

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 + a_3 D_3 \text{ (AASHTO 1982)} \quad (2)$$

dengan penjelasan :

ITP = indeks tebal perkerasan

SN = *structural number*

$a_1, a_2, a_3$  = angka koefisien kekuatan relatif lapisan

$D_1, D_2, D_3$  = tebal lapis keras

angka 1, 2 dan 3 masing-masing menunjukkan lapis permukaan, lapis pondasi atas dan lapis pondasi bawah.

Semakin besar angka kekuatan relatif lapisan ( $a$ ) maka ketebalan lapis keras semakin tipis, nilai  $a$  ini baik menurut Bina Marga (1987) maupun AASHTO (1982) sangat dipengaruhi nilai stabilitas *Marshall*.

Hasil penelitian yang mengacu pada grafik hubungan antara koefisien kekuatan relatif lapis permukaan dengan stabilitas *Marshall* yang dikemukakan AASHTO (1982) telah mendapatkan formula dalam persamaan (3).

$$a_1 = 0,0285.(MS)^{0.35} \quad (3)$$

dengan :

$a_1$  = koefisien kekuatan relatif lapis permukaan

MS = *Marshall stability* (lbs)

Gambar 2 menunjukkan hubungan antara modulus elastik, sifat bahan, temperatur udara dan waktu pembebanan. Terlihat dari gambar tersebut bahwa aspal bersifat *elastic* pada temperatur rendah dan lama pembebanan yang pendek, bersifat *viscous* bila temperatur tinggi dan lama pembebanan panjang, antara kedua kondisi tersebut aspal akan bersifat *visco elastic*. Juga dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa nilai modulus elastik aspal minimum yang sesuai dengan kondisi lingkungan Indonesia adalah 5 MPa atau  $5 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ , yaitu nilai kekakuan aspal yang terjadi pada kecepatan pembebanan rata-rata 50 km/jam atau lama pembebanan 0,02 detik, dengan temperatur udara rata-rata 25°C.

Modulus elastik (kekakuan) aspal dihitung dengan persamaan (4) berikut.

$$SB = 1,157.10^{-7}.T^{0.368}.2,718^{-P_{Ir}}(SP_r-T)^5 \quad (4)$$

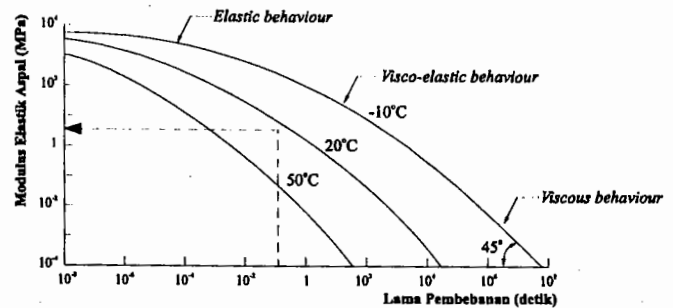
dengan :

$S_b$  = Kekakuan aspal (*bitumen stiffness*), MPa

$P_{Ir}$  = *recovered penetration index* dari aspal

$SP_r$  = *recovered softening point index* dari aspal, °C

$T$  = temperatur udara, °C



Sumber : Brown dan Brunton (1984)

Gambar 2. Modulus Elastik Aspal sebagai Fungsi dari Lama Pembebanan dan Temperatur Udara

VMA dinyatakan sebagai ruang yang tersedia untuk menampung volume aspal dan volume rongga udara yang diperlukan dalam campuran agregat aspal. Besarnya VMA dapat dihitung dengan persamaan (5).

$$VMA = V_B + V_V \quad (5)$$

Hubungan antara  $V_B$  dengan kadar aspal optimum campuran agregat aspal dapat dilihat dalam persamaan (6), sedangkan hubungan antara  $V_V$  dengan VITM dapat dalam persamaan (7). Dengan demikian untuk menghitung VMA dapat didekati dengan persamaan (10).

$$V_B = \frac{b \cdot g}{BJ \text{ aspal}} = \frac{a \cdot g}{(100 + a) BJ \text{ aspal}} \times 100\% \quad (6)$$

$$V_V = VITM \quad (7)$$

$$VITM = \left(100 - \frac{100 \cdot g}{h}\right) \quad (8)$$

$$h = \frac{100}{\frac{\% \text{ agregat}}{BJ \text{ agregat}} + \frac{\% \text{ aspal}}{BJ \text{ aspal}}} \quad (9)$$

$$VMA = \left[ \frac{b \cdot g}{BJ \text{ aspal}} \right] + \left[ \left(100 - \frac{100 \cdot g}{h}\right) \right] \quad (10)$$

dengan :

a = kadar aspal optimum terhadap total agregat (%)

b = kadar aspal optimum terhadap campuran agregat aspal (%)

g = berat volume benda uji (gram/cc)

h = berat jenis campuran maksimum teoritis (gram/cc)

Variabel yang mempengaruhi nilai kekakuan (modulus elastik) perkerasan adalah nilai kekakuan aspal sebagai bahan ikat dan tingkat kepadatan perkerasan HRA yang dinyatakan dalam nilai VMA. Hubungan ini dinyatakan dalam persamaan yang dikemukakan Brown dan Brunton (1984) sebagai berikut :

$$Sme = Sb \cdot \left[ 1 + \frac{(257,5 - 2,5 \cdot VMA)}{n \cdot (VMA - 3)} \right]^n \quad (11)$$

$$n = 0,83 \cdot \log \left[ \frac{40.000}{Sb} \right] \quad (12)$$

dengan penjelasan :

Sme = kekakuan campuran agregat aspal  
(=the elastic mix stiffness), (MPa)

Sb = nilai kekakuan aspal (=bitumen stiffness),  
(MPa)

VMA = voids in mixed aggregate, (%)

Nilai VMA campuran agregat aspal bervariasi dari 12% sampai 30% dengan volume pori dalam campuran ( $V_v$ ) lebih besar 3% (Brown dan Brunton, 1984) dan nilai modulus elastik minimal 5 MPa. Dengan demikian jika didapatkan suatu nilai Sb tertentu, maka akan didapatkan batasan nilai Sme dengan mengacu persamaan (11).

## HIPOTESIS PENELITIAN

Dapat diduga bahwa variasi kadar, bentuk dan ukuran agregat kasar serta jenis aspal keras akan mempengaruhi nilai modulus elastik campuran agregat aspal (HRA), yang selanjutnya akan muncul indikasi

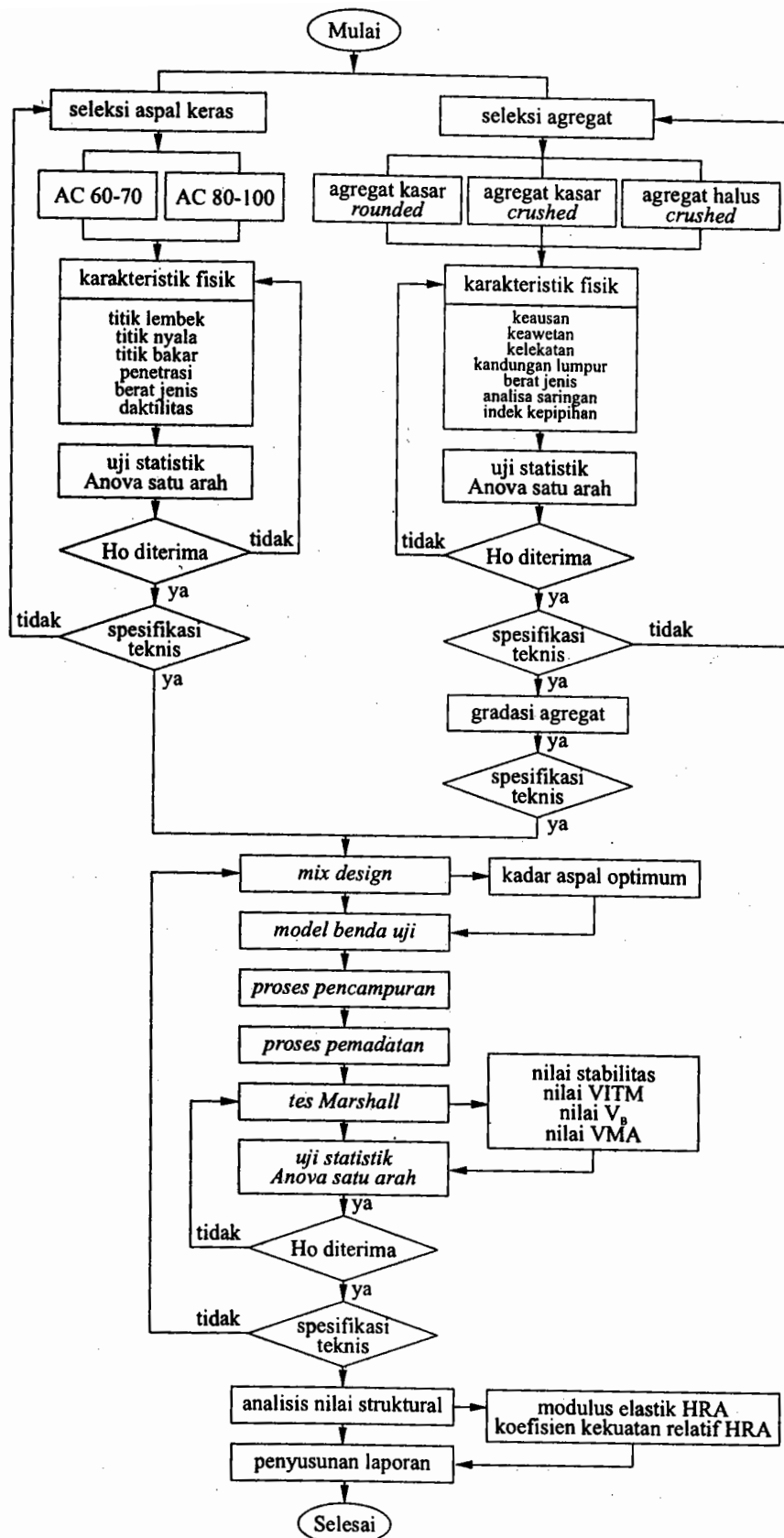
kualitatif dan kuantitatif pengaruh sifat fisik agregat kasar dan nilai penetrasi aspal keras terhadap perubahan nilai modulus elastik campuran HRA sehingga diperoleh pengetahuan dasar memilih jenis dan ukuran agregat kasar pada berbagai variasi kadar agregat kasar.

Selain nilai modulus elastik campuran agregat aspal, nilai struktural campuran juga ditentukan oleh nilai koefisien kekuatan relatif lapisan permukaan. Nilai koefisien kekuatan relatif lapisan permukaan sangat ditentukan oleh nilai stabilitas campuran agregat aspal melalui pengujian *Marshall*. Nilai stabilitas ini juga dipengaruhi oleh jenis aspal keras yang digunakan dan karakteristik gradasi batuan yang digunakan yang berarti pula dipengaruhi oleh kadar, bentuk dan ukuran agregat kasar.

## CARA PENELITIAN

### Proses Kerja Laboratorium

Penelitian dilakukan dengan pengujian *Marshall* terhadap tiap model campuran HRA dengan variasi kadar (56%, 63%, 70%), bentuk (*rounded, crushed*) dan ukuran nominal butiran (20 mm, 28 mm, 35 mm) agregat kasar serta jenis aspal keras (AC 60-70, AC 80-100) sebagai bahan ikat sebagaimana dapat dilihat dalam Tabel 1. Tiap model campuran HRA terdiri atas 9 (sembilan) benda uji yang terdiri 3 (tiga) benda uji dengan agregat sampel I (lokasi Merdikorejo), 3 (tiga) benda uji dengan agregat sampel II (lokasi Tempel) dan 3 (tiga) benda uji lagi dengan agregat sampel III (lokasi Sumberejo), selanjutnya dilakukan analisa varians satu jalur dengan tingkat signifikansi  $\alpha = 1\%$  dan  $\alpha = 5\%$ , untuk membuktikan homogenitas hasil rerata karakteristik *Marshall* tiap model campuran HRA, dan membuktikan sampel-sampel tersebut berasal dari populasi yang sama. Beberapa parameter penting yang diperoleh dari tiap model campuran HRA ini adalah stabilitas (untuk menganalisis nilai  $a_1$ ) dan volume aspal, volume pori udara dalam campuran dan nilai Sb (untuk menganalisis nilai Sme). Proses kerja tersebut dapat dilihat dalam Gambar 3. Alat uji utama penelitian ini adalah alat *Marshall*.



Gambar 3 Proses Kerja Kegiatan Penelitian

Tabel 1. Model Benda Uji

Kode benda uji	Kadar agregat kasar (%)	Bentuk agregat kasar R= <i>Rounded</i> C= <i>Crushed</i>	Ukuran maksimum nominal agregat kasar (mm)	Jenis aspal	Jumlah benda uji	
					uji kadar aspal optimum	uji anova satu jalur
1	56	R	20	AC 60 - 70	15	9
2	56	R	20	AC 80 - 100	15	9
3	56	R	28	AC 60 - 70	15	9
4	56	R	28	AC 80 - 100	15	9
5	56	R	35	AC 60 - 70	15	9
6	56	R	35	AC 80 - 100	15	9
7	56	C	20	AC 60 - 70	15	9
8	56	C	20	AC 80 - 100	15	9
9	56	C	28	AC 60 - 70	15	9
10	56	C	28	AC 80 - 100	15	9
11	56	C	35	AC 60 - 70	15	9
12	56	C	35	AC 80 - 100	15	9
13	63	R	20	AC 60 - 70	15	9
14	63	R	20	AC 80 - 100	15	9
15	63	R	28	AC 60 - 70	15	9
16	63	R	28	AC 80 - 100	15	9
17	63	R	35	AC 60 - 70	15	9
18	63	R	35	AC 80 - 100	15	9
19	63	C	20	AC 60 - 70	15	9
20	63	C	20	AC 80 - 100	15	9
21	63	C	28	AC 60 - 70	15	9
22	63	C	28	AC 80 - 100	15	9
23	63	C	35	AC 60 - 70	15	9
24	63	C	35	AC 80 - 100	15	9
25	70	R	20	AC 60 - 70	15	9
26	70	R	20	AC 80 - 100	15	9
27	70	R	28	AC 60 - 70	15	9
28	70	R	28	AC 80 - 100	15	9
29	70	R	35	AC 60 - 70	15	9
30	70	R	35	AC 80 - 100	15	9
31	70	C	20	AC 60 - 70	15	9
32	70	C	20	AC 80 - 100	15	9
33	70	C	28	AC 60 - 70	15	9
34	70	C	28	AC 80 - 100	15	9
35	70	C	35	AC 60 - 70	15	9
36	70	C	35	AC 80 - 100	15	9
Total benda uji					864	

## Kendala penelitian

Kendala yang terjadi terutama disebabkan kondisi alat yang mengalami kerusakan karena peralatan sudah tua dan sering dipakai seperti alat uji *Marshall*, timbangan berat dan alat pemadat elektrik. Hal ini sangat menghambat waktu penelitian karena secara berkala harus mengadakan pengontrolan ulang dengan kalibrasi rutin.

Selain itu data penelitian ini lebih mendasarkan teori dalam acuan BS 594 (1985), peralatan yang ada seperti ukuran saringan masih mengacu pada AASHTO (1981) atau AASHTO (1982), sehingga dalam analisa saringan diadakan pendekatan antara standar BS 594 (1985) dengan AASHTO (1982) selama ukuran yang dimaksud tidak berbeda amat jauh. Dalam hal ini selalu dilakukan pengendalian ukuran agregat yang digunakan agar tidak terlalu menyimpang jauh dari standar BS 594 (1985) untuk campuran HRA. Pengukuran indeks kepipihan campuran dilakukan dengan menggunakan analisa saringan slot, dalam penelitian ini saringan slot dibuat secara manual dengan menggunakan ukuran standar BS 594 (1985) karena laboratorium tempat penelitian belum memiliki saringan slot standar baku.

## HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

### Nilai Koefisien Kekuatan Relatif Lapisan Permukaan HRA ( $a_1$ )

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada tinjauan kadar, bentuk dan ukuran nominal agregat kasar tertentu, campuran HRA dengan aspal AC 60-70 memiliki nilai  $a_1$  lebih besar daripada campuran HRA dengan aspal AC 80-100. Demikian juga pada tinjauan kadar, dan ukuran nominal agregat kasar tertentu serta jenis aspal keras tertentu, campuran HRA dengan agregat kasar *crushed* memiliki nilai  $a_1$  lebih besar daripada campuran HRA dengan agregat kasar *rounded*.

Pada campuran HRA *crushed* dengan aspal AC 60-70, menunjukkan pada rentang ukuran nominal 20 mm - 22,5 mm dan 32 mm - 35 mm makin besar kadarnya maka nilai  $a_1$  makin kecil, dan berlaku sebaliknya pada rentang ukuran nominal 23 mm - 31 mm. Pada campuran HRA *crushed* dengan aspal AC 80-100, menunjukkan pada rentang ukuran nominal 20 mm - 30,5 mm makin besar kadarnya maka nilai  $a_1$  makin kecil dan berlaku sebaliknya pada rentang ukuran nominal 32 mm - 35 mm (Gambar 4 dan Gambar 5).

Pada campuran HRA *rounded* dengan aspal AC 60-70, menunjukkan pada rentang ukuran nominal 20

mm - 29,5 mm makin besar kadarnya maka nilai  $a_1$  makin kecil. Pada campuran HRA *rounded* dengan aspal AC 80-100 menunjukkan pada rentang ukuran nominal 20 mm - 26 mm makin besar kadarnya maka nilai  $a_1$  makin kecil (Gambar 4 dan Gambar 5).

Dari hasil penelitian dapat ditentukan beberapa model campuran HRA yang memiliki nilai  $a_1$  yang besar adalah :

- kadar agregat kasar *crushed* terhadap total agregat = 70%, kadar aspal AC 60-70 optimum = 5,366%, ukuran nominal agregat kasar *crushed* = 28 mm, dengan nilai  $a_1 = 0,3928$ .
- kadar agregat kasar *crushed* terhadap total agregat = 56%, kadar aspal AC 60-70 optimum = 5,660%, ukuran nominal agregat kasar *crushed* = 35 mm, dengan nilai  $a_1 = 0,38014$ .
- kadar agregat kasar *rounded* terhadap total agregat = 56%, kadar aspal AC 60-70 optimum = 5,366%, ukuran nominal agregat kasar *crushed* = 20 mm, dengan nilai  $a_1 = 0,34096$ .

### Nilai modulus kekakuan campuran HRA (Sme)

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada tinjauan kadar, bentuk dan ukuran nominal agregat kasar tertentu, campuran HRA dengan aspal AC 60-70 memiliki nilai Sme lebih besar daripada campuran HRA dengan aspal AC 80-100. Demikian juga pada tinjauan kadar dan ukuran nominal agregat kasar tertentu serta jenis aspal keras tertentu, campuran HRA dengan agregat kasar *crushed* memiliki nilai Sme lebih besar daripada campuran HRA dengan agregat kasar *rounded*.

Pada campuran HRA *crushed* dengan aspal AC 60-70, menunjukkan pada rentang ukuran nominal 20 mm - 22 mm dan 31 mm - 35 mm makin besar kadarnya maka nilai Sme makin kecil, dan berlaku sebaliknya pada rentang ukuran nominal 23 mm - 30 mm. Pada campuran HRA *crushed* dengan aspal AC 80-100, menunjukkan pada rentang ukuran nominal 20 mm - 32 mm makin besar kadarnya maka nilai Sme makin kecil dan berlaku sebaliknya pada rentang ukuran nominal 34 mm - 35 mm (Gambar 6 dan Gambar 7).

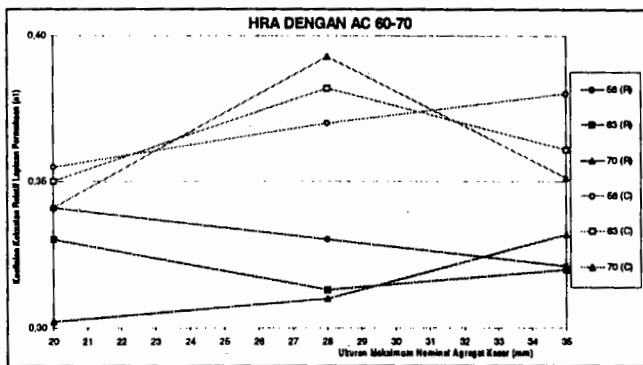
Pada campuran HRA *rounded* dengan aspal AC 60-70, menunjukkan pada rentang ukuran nominal 20 mm - 35 mm makin besar kadarnya maka nilai Sme makin kecil. Pada campuran HRA *rounded* dengan aspal AC 80-100 menunjukkan pada rentang ukuran nominal 20 mm - 33 mm makin besar kadarnya maka nilai Sme makin kecil (Gambar 6 dan Gambar 7).

Dari hasil penelitian dapat ditentukan beberapa model campuran HRA yang memiliki nilai Sme yang

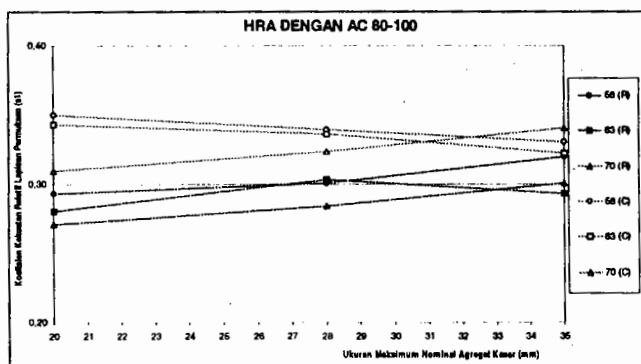


besar adalah :

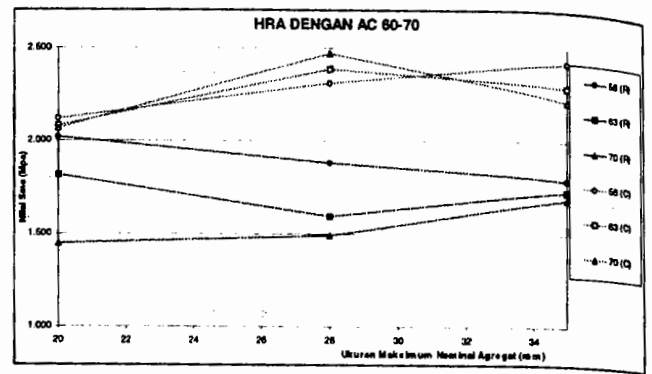
- kadar agregat kasar *crushed* terhadap total agregat = 70%, kadar aspal AC 60-70 optimum = 5,366%, ukuran nominal agregat kasar *crushed* = 28 mm, dengan nilai Sme = 2473,92 MPa.
- kadar agregat kasar *crushed* terhadap total agregat = 56%, kadar aspal AC 60-70 optimum = 5,660%, ukuran nominal agregat kasar *crushed* = 35 mm, dengan nilai Sme = 2426,22 MPa.
- kadar agregat kasar *rounded* terhadap total agregat = 56%, kadar aspal AC 60-70 optimum = 5,366%, ukuran nominal agregat kasar *crushed* = 20 mm, dengan nilai Sme = 2017,60 MPa.



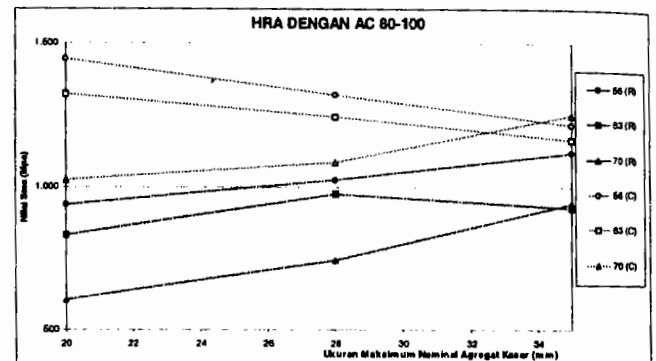
Gambar 4. Hubungan antara Ukuran Maksimum Nominal Agregat Kasar dan Nilai  $a_1$  Campuran HRA yang Menggunakan Aspal AC 60-70 pada Berbagai Kadar Agregat Kasar *Rounded* (R) maupun *Crushed* (C)



Gambar 5. Hubungan antara Ukuran Maksimum Nominal Agregat Kasar dan Nilai  $a_1$  Campuran HRA yang Menggunakan Aspal AC 80-100 pada Berbagai Kadar Agregat Kasar *Rounded* (R) maupun *Crushed* (C)



Gambar 6. Hubungan antara Ukuran Nominal Agregat Kasar dan Nilai Sme pada Berbagai Kadar Agregat Kasar *Rounded* (R) maupun *Crushed* (C) dengan Jenis Aspal AC 60-70



Gambar 7. Hubungan Ukuran Nominal Agregat Kasar dan Nilai Sme HRA pada Berbagai Kadar Agregat Kasar *Rounded* (R) maupun *Crushed* (C) dengan Jenis Aspal AC 80-100

## KESIMPULAN

Model campuran HRA *crushed* dengan aspal AC 60-70, pada rentang ukuran nominal 23 mm – 31 mm makin besar kadarnya maka nilai  $a_1$  dan nilai Sme makin besar. Selain itu hasil penelitian juga menunjukkan bahwa pada model campuran HRA *crushed* dan HRA *rounded* yang menggunakan aspal AC 80-100, pada rentang ukuran nominal 20 mm – 25 mm makin besar kadarnya maka nilai  $a_1$  dan nilai Sme makin kecil. Demikian juga pada model campuran HRA *crushed* dan HRA *rounded* dengan aspal AC 60-70 pada rentang ukuran nominal 20 mm – 22 mm dan 33 mm - 35 mm. Selanjutnya diperoleh model campuran HRA *crushed* yang paling baik yaitu kadar 70 %, kadar aspal AC 60-70 optimum 5,36 %, ukuran



nominal 28 mm dengan nilai  $a_1 = 0,3928$  dan nilai  $Sme = 2473,92$  MPa, serta kadar 56 %, kadar aspal AC 60-70 optimum 5,66 %, ukuran nominal 35 mm dengan nilai  $a_1 = 0,3801$  dan nilai  $Sme = 2426,22$  MPa. Sedangkan model campuran HRA *rounded* yang paling baik yaitu kadar 56 %, kadar aspal AC 60-70 optimum 5,36 %, ukuran nominal 20 mm dengan nilai  $a_1 = 0,3409$  dan nilai  $Sme = 2017,60$  Mpa.

#### DAFTAR PUSTAKA

- AASHTO, 1982, *Standard Specifications for Transportation Material and Methods of Sampling and Testing, Part I, Specifications, 13<sup>th</sup> Edition, page 10-180*, Washington, D.C.
- British Standard Institution/BS.594, 1985, *Specification for Constituent Materials and Asphalt Mixtures, Hot Rolled Asphalt for Road and Other Paved Areas*, Ministry of Transportation, London.
- Brown, S.F., dan Brunton, J.M., 1984, *An Introductions to the Analytical Design of Bituminous Pavement, Part II, 4<sup>th</sup> Edition*, University of Nottingham.
- Direktorat Jenderal Bina Marga, 1987, Petunjuk Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya dengan Metode Analisa Komponen, SKBI - 2.3.26, UDC: 625.73(02), Biro Penerbit PU, Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Mulyono, A.T., 1997, Pengaruh Jumlah Tumbukan Pemadatan terhadap Nilai Modulus Elastik Campuran HRA, Forum Teknik Jurnal Teknologi FT UGM, Jilid 20 No. 1, halaman 99-112.
- Sastroadinoto, S., (1997), *Personal Contact*.
- Sidarahardja, 1985, *The Influence of Some Physical of Coarse Aggregate and Fine Aggregate on The Stability and Skid Resistance of Hot Rolled Mixed (Wearing Course)*, Thesis of Post Graduate, Institute of Technology Bandung.
- Siswosoebrotho, B.I., 1994, Peranan Filler pada Sifat-Sifat Teknik Campuran *Hot Rolled Asphalt*, Konferensi Tahunan Teknik Jalan Ke-5, Volume 3 Peralatan dan Bahan, Bandung.